

اعتبارسنجی روش‌های درونیابی دمای فصل تابستان در شمال شرق ایران

دریافت مقاله: ۹۸/۱۱/۵ پذیرش نهایی: ۹۹/۴/۱۱

صفحات: ۳۵۱-۳۶۹

حمید صالحی: دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه آزاد، واحد شیروان، ایران.

Email: h.salehi2430@gmail.com

محمد معتمدی: استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه آزاد واحد شیروان، ایران.^۱

Email: Motamedi45@gmail.com

عزت الله مافی: دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه آزاد واحد شیروان، ایران.

Email: Mafi@ferdosi.um.ac.ir

چکیده

اساس داده‌های اقلیمی اندازه‌گیری‌هایی است که با نظم زمانی از پیش تعیین شده در ایستگاه‌های دبدبانی هوا انجام می‌پذیرد، بنابراین تمامی مقادیر اندازه‌گیری شده عناصر اقلیمی تنها به نقطه محل اندازه‌گیری قابل انتساب است. از این رو روش‌های مختلف درونیابی می‌تواند به تخمین داده‌های اقلیمی در نقاط مختلف کمک زیادی کند. منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، شمال شرق ایران شامل استان‌های خراسان رضوی و شمالی می‌باشد و از داده‌های دمای ماهانه فصل تابستان برای ۲۱ ایستگاه همدید و تبخیرسنجی شمال شرق متعلق به سازمان هواشناسی و وزارت نیرو با پراکنش مناسب استفاده شد. دوره آماری ۲۱ سال (۲۰۱۷-۱۹۹۷) به عنوان دوره آماری مشترک برای تمامی ایستگاه‌ها در نظر گرفته شد. سپس به منظور مقایسه روش‌های درونیابی، چندین روش مختلف، شامل کریجینگ معمولی، اسپیلاین، مجذور معکوس فاصله و تیسن توسط نرم افزار ARCGIS استفاده شد مقایسه کردن انحراف تخمین‌ها از داده‌های اندازه‌گیری شده به روش اعتبارسنجی متقاطع ارزیابی گردید. سپس به منظور بررسی فرض نرمال بودن خطاهای محاسبه شده در هر روش درونیابی، از آزمون ران تست استفاده و در نهایت برای ارزشیابی بهترین روش درونیابی از روش AHP و نرم افزار Expert Choice بهره گرفته شد. نتایج نشان داد بر اساس معیار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) به ترتیب روش تیسن، کریجینگ، معکوس فاصله و اسپیلاین قرار گرفته‌اند. بر اساس معیار بیشینه مطلق خطا (MAE)، روش کریجینگ بهتر از سایر روش‌ها دمای تابستان را برآورد کرده است. بر اساس معیار (MBE) نیز روش کریجینگ بهتر از سایر روش‌ها می‌باشد و می‌توان از آن برای درونیابی دما استفاده نمود. با توجه به ضرایب تعیین شده، نرخ سازگاری محاسبه شده ۰/۰۳ می‌باشد که از دقت بالای انتخاب وزن‌ها حکایت دارد.

کلیدواژگان: درونیابی، اعتبارسنجی، ران تست، کریجینگ، AHP

۱ نویسنده مسئول: خراسان شمالی شیروان خیابان دانشگاه دانشگاه آزاد اسلامی شیروان گروه جغرافیا، ۰۹۱۵۵۷۱۲۴۳۰

مقدمه

شناخت وضعیت گذشته‌ی مناطق، شرایط موجود در زمان حال و پیش بینی آینده بر پایه این اطلاعات و مدل سازی فرآیندهای مختلف، رمز موفقیت برنامه‌ریزان و تصمیم‌سازان است. در این بین، شناخت و مدل سازی عناصر آب و هوایی به دلیل تأثیرپذیری آن‌ها از شرایط منطقه‌ای و سیاره‌ای از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اساس داده‌های اقلیمی، سنجه‌هایی است که با نظم زمانی از پیش تعیین شده‌ای در ایستگاه‌های دیده‌بانی انجام می‌پذیرد، این مقادیر تنها به نقطه محل اندازه‌گیری قابل انتساب است. روش غالب برای تعمیم این داده‌ها، تهیه‌ی نقشه‌های هم‌ارزش اقلیمی مبتنی بر روش‌های میان‌یابی نقطه‌ای است. فاصله زیاد ایستگاه‌های هواشناسی، موجب بروز مشکلاتی همچون: افزایش میزان خطا و کاهش تفکیک مکانی عرصه‌های میان‌یابی شده گردیده و در نتیجه کاربرد این نقشه‌ها را در مطالعات کوچک مقیاس مانند آبخیزداری، کشاورزی، معماری و ... محدود می‌نماید. هرچند تغییرپذیری زمانی و مکانی دما نسبت به سایر عناصر جوی بیشتر است، در مقابل در برنامه‌ریزی‌های محیطی نقش بیشتری داشته و به همین خاطر کارشناسان و پژوهشگران توجه ویژه‌ای به آن دارند. با توجه به نقش مستقیم دما بر میزان تبخیر و تعرق، بروز و شیوع بیماری‌ها، کیفیت و بازده محصولات کشاورزی و ... شناخت آن؛ نیازمند شبکه‌ای فشرده از ایستگاه‌های اندازه‌گیری است که نصب و نگهداری آن‌ها پر هزینه و چه بسا غیر ممکن است. از این‌رو مسئله تخمین میزان دما برای یک نقطه از روی مقادیر مشاهده شده در نقاط مجاور (درون یابی) ضرورت می‌یابد (عساکره، ۱۳۸۷). در روش‌های مبتنی بر درون‌یابی، ارزش عددی مکان‌های فاقد داده به کمک داده‌های نقاط مجاور برآورد می‌شود (بروگ^۱، ۱۹۸۷). این تکنیک برای کشورهای در حال توسعه که نیاز به رهیافتی دقیق و کم هزینه برای دستیابی به اطلاعات مکانی دارند، کاربرد انکار ناپذیری دارد (مالواراچی^۲، ۱۹۹۶). در مطالعات زیادی اثبات شده که انجام روش‌های درون‌یابی فضایی به نوع، آرایش فضایی، پراکندگی متغیر و ویژگی منطقه‌ی مورد مطالعه بستگی داشته و به همین دلیل دقت محاسبات در هر روش به طور گسترده‌ای تغییر می‌کند (گووآرتس^۳، ۲۰۰۰؛ تولد و همکاران^۴، ۲۰۱۰). بنابراین در استفاده از هر روش درون‌یابی، تغییرپذیری سطح درون‌یابی شده را بایستی مد نظر قرار دهیم، چرا که نتایج درون‌یابی از روشی به روش دیگر متفاوت است (لوو^۵ و همکاران، ۲۰۰۸؛ ۹۴۹). در منابع خارجی مطالعات گسترده‌ای در زمینه روش‌های درون‌یابی فضایی صورت گرفته، اما در خصوص درون‌یابی فضایی دمایی در ایران مطالعات بسیار اندک است. پرایس^۶ و همکاران (۲۰۰۰) از دو روش TPSS^۷ و عکس مجذور فاصله برای درون‌یابی مکانی دما و بارش ماهانه و سالانه در مناطقی از غرب و شرق کانادا استفاده نمودند، نتایج نشان داد که روش TPSS مناسب تر از روش درون‌یابی است. گووآرتز^۸ (۲۰۰۰، ۱۲۹) با استفاده

1 Burrough

۲ Mallawaarachchi

۳ Goovaerts

۴ tewolde

۵ Lue

۶ - Price & at all

7 - Thin Plate Spline Surfaces

8 - Goovaerts

از روش‌های عکس مجذور فاصله، رگرسیون خطی با ارتفاع تیسن، کریجینگ معمولی و ساده به میان‌یابی بارندگی و دمای سالانه منطقه‌ای به وسعت ۵۰۰۰ کیلومترمربع از شمال پرتغال پرداخت. نتایج حاصل بیانگر مناسب بودن روش کریجینگ ساده نسبت به سایر روش‌های مذکور بود.

لوکینیل و اربان^۱ (۱۴،۲۰۰۳) جهت تخمین فضایی دمای نواحی کوهستانی، از مدل‌های رگرسیون ساده و پیچیده و جهات شیب استفاده کردند. تی ولده^۲ و همکاران (۲۰۱۰) روش کریجینگ را مناسب‌ترین روش برای درون‌یابی دما در کشور اریتریه تشخیص دادند. بررسی مطالعات انجام شده در زمینه درون‌یابی دما، بیانگر نقش بارز ارتفاع بر میزان دقت درون‌یابی فضایی این عنصر جوی است (جانسون و همکاران^۳ ۲۰۰۰؛ کارتزمن و همکاران^۴ ۱۹۹۹). همچنین روش‌های قطعی درون‌یابی از توابع ریاضی برای ایجاد سطوح، از نقاط اندازه‌گیری شده بر مبنای میزان تشابه نقاط استفاده می‌کنند. مهمترین این روش‌ها عبارتند از: چندضلعی تیسن، معکوس وزنی فاصله، تابع چندجمله‌ای عام، توابع چندجمله‌ای موضعی و اسپلاین. این روش‌ها به تفضیل توسط لایود^۵ (۲۰۰۵)، ژائو و همکاران^۶ (۲۰۰۵) و سرا^۷ (۲۰۰۶) بررسی شده‌اند. امیدوار و خسروی (۱۵:۱۳۸۸)، به منظور تعیین مدلی بهینه جهت پایش شاخص بارندگی استاندارد در استان یزد به ارزیابی روش‌های کریجینگ پرداخته و نوع معمولی آن را مدلی بهینه جهت توجیه مکانی شاخص SPI تشخیص داده‌اند. محمدیان پور و همکاران (۵۷:۱۳۹۲) در بررسی کاربرد انواع روش‌های درون‌یابی به منظور پایش خشکسالی در خراسان رضوی، بهترین روش را کریجینگ معمولی دانسته و این روش را دارای کمترین مقدار انحراف می‌دانند. تغییرات بارش استان فارس با کاربرد روش‌های زمین آمار که توسط ثقفیان و همکاران (۱۳۹۰، ۲۹) انجام گرفت نشان داد که برازش شبیه‌گوسی کریجینگ و کوکریجینگ بر سهمی واریوگرام داده‌های بارش سالانه با دامنه‌ی تأثیر ۲۰۰ کیلومتر بهترین الگو برای درون‌یابی بارش سالانه در منطقه مطالعاتی است. میر موسوی و میریان (۱۳۹۰، ۱۵۳) در مطالعه توزیع مکانی بارش استان کرمان، به این نتیجه رسیدند که روش کریجینگ با سطح خطای کمتر، روش مناسب‌تری برای درون‌یابی بارش در این منطقه است. صادقی‌نیا و علیجانی (۱۳۹۲) پس از اعتبار سنجی روش‌های درون‌یابی، بهترین روش برای درون‌یابی فضایی میانگین دمای سالانه ایران را روش کوکریجینگ دانسته‌اند. بیات و همکاران (۱۲:۱۳۸۹) به مدل‌سازی تغییرات مکانی دما در استان کرمانشاه با استفاده از تکنیک‌های GIS پرداخته و نتایج آن‌ها نشان داد که روش معکوس فاصله به منظور مدل‌سازی دمای این استان دارای بیشترین و روش اسپلاین دارای کمترین دقت است.

2-Lookingbill and Urban

2 -Tewolde

4- Jahnson & at all

5-Kurtzman & at all

6-Lloyd

7-Zhao & at all

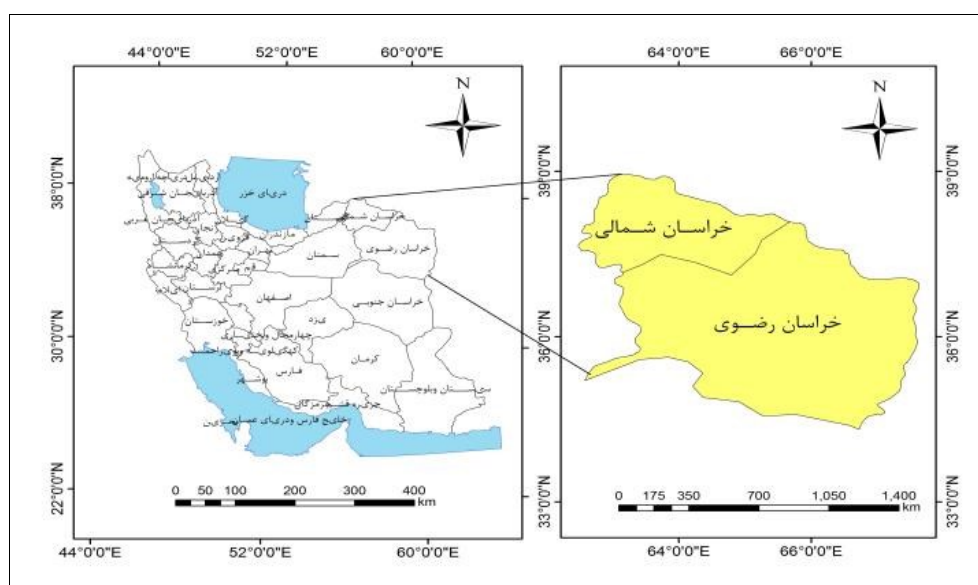
8-sarra

در این پژوهش چندین روش درون‌یابی فضایی با هدف تعیین بهترین روش برای نمایش نسبی از وضعیت دمای تابستانه شمال شرق کشور مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

شمال شرق ایران حد فاصل ۵۵ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی شامل استان های خراسان رضوی و شمالی با مساحتی بالغ بر ۲۸۸ هزار کیلومتر مربع (۹/۶۷ درصد مساحت کشور) گستره‌ی جغرافیایی این تحقیق است. (شکل ۱).



شکل (۱). موقعیت منطقه مورد مطالعه

داده و روش کار

در این مطالعه از داده‌های فصل تابستان برای ۲۱ ایستگاه همدید و تبخیر سنجی سازمان هواشناسی کشور و وزارت نیرو با پراکنش مناسب استفاده شد. پس از کنترل کمی و کیفی داده‌ها و بازسازی داده‌های مفقود یا ثبت نشده با استفاده از روش نسبت‌ها و تفاسل‌ها، دوره آماری ۲۱ ساله (۱۹۹۷-۲۰۱۷) برای تمامی ایستگاه‌ها در نظر گرفته شد. به منظور مقایسه روش‌های درون‌یابی، چندین روش مختلف، شامل کریجینگ معمولی، اسپیلاین، مجذور فاصله معکوس و تیسن ارزیابی و با یکدیگر مقایسه شدند. برای انجام روش درون‌یابی و پهنه‌بندی دمای تابستانه از نرم افزار ARCGIS استفاده شد. سطح کارایی هر روش درون‌یابی، یا به بیانی دیگر میزان دقت تخمین‌ها، با مقایسه کردن انحراف تخمین‌ها از داده‌های اندازه‌گیری شده به روش اعتبارسنجی متقاطع ارزیابی شد. در این روش مقایسه‌ای میان نقاط اندازه‌گیری شده و مقادیر تخمینی توسط روش‌های مورد استفاده صورت می‌گیرد. به این ترتیب که یک نقطه حذف شده و با استفاده از سایر نقاط و اعمال روش درون‌یابی مورد نظر، برای این نقطه تخمین صورت می‌گیرد. سپس این نقطه به محل خود

برگردانده و نقطه بعدی حذف و به همین ترتیب برای تمام نقاط برآورد صورت می‌گیرد. در پایان هر روش، جدولی با دو ستون از مقادیر حقیقی (مشاهدات) و مقادیر پیش بینی شده حاصل می‌شود. سپس کفایت مدل‌ها بر اساس این مقادیر و توسط روابط (۱ تا ۳) سنجیده شد:

$$MAE^1 = \frac{\sum_{i=1}^n |z^*(x_i) - z(x_i)|}{n} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$MBE^2 = \frac{\sum_{i=1}^n [z^*(x_i) - z(x_i)]}{n} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$RMSE^3 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [z^*(x_i) - z(x_i)]^2}{n}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در روابط (۱ تا ۳) MAE : میانگین خطای مطلق؛ MBE : میانگین خطای انحراف؛ RMSE: ریشه دوم مربع میانگین خطا،

z^* : مقدار پیش بینی شده متغیر مورد نظر؛ Z : مقدار اندازه گیری شده متغیر مورد نظر و N : تعداد داده هاست. بر اساس این شاخص‌ها بهترین مدل، مدلی است که مقدار MAE، MBE آن به صفر نزدیکتر و مقدار RMSE آن کوچکتر باشد.

روش کریجینگ

روش کریجینگ برای برآورد نقطه ناشناخته، به هریک از نمونه‌های اندازه گیری شده یک وزن می‌دهد. این روش یک برآورد خطی است که از رابطه (۴) تبعیت می‌کند (حسنی پاک، ۱۳۸۰: ۳۱۴).

$$z^* = \sum_{i=1}^n w_i z(x_i) \quad \text{رابطه (۴)}$$

z^* : مقدار متغیر مکانی برآورد شده؛ $z(x_i)$: مقدار متغیر مکانی مشاهده شده در نقطه x_i ، λ_i مجموع وزنی که به پیکسل x_i داده می‌شود و بیانگر نقطه x_i ام در برآورد است (مهدی زاده و همکاران، ۱۳۸۵: ۹). در این روش واریانس فضایی تابعی از فاصله شناخته می‌شود و خطای مقادیر پیش بینی شده را با توجه به توزیع فضایی داده‌های پیش بینی شده کمینه می‌کنند. محاسبه بر اساس رابطه (۵) زیر انجام می‌پذیرد:

$$z_i = \sum_{j=1}^n w_j z_j \quad \text{رابطه (۵)}$$

در رابطه (۵) مقدار برآورد شده برابر است با مجموع وزن‌هایی که از ۲ تا N مورد بررسی قرار می‌گیرد و به z_i مورد (متغیر مورد نظر) داده می‌شود. وزن‌ها به همبستگی بین نقاط نمونه و نقاط برآورد شده بستگی دارد و همیشه مجموع آنها برابر یک است (فرجی، سبکبار، ۱۳۸۵: ۴).

¹ -Mean Absolute Error

² -Mean Bias Error

³ -Root-Mean-Square Error

روش معکوس وزنی فاصله

در این شیوه فرض اساسی بر این اصل استوار است که با فاصله گرفتن از نقطه ای که مقادیر آن در دسترس است به اطراف ارزش عددی کاهش می یابد. میزان این کاهش با تعیین وزن بر اساس فاصله و با استفاده از رابطه (۶) بدست می آید.

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{z_i}{d_i^m}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^m}} \quad \text{رابطه (۶)}$$

در رابطه (۶)، z_i : مقادیر نمونه؛ d_i : فاصله اقلیدسی هر مکان تا محل نمونه؛ m : عامل توان (اصطکاک فاصله) و n : تعداد نقاط نمونه است. نسبت کاهش وزن بستگی به مقدار m دارد. اگر $m = ۰$ در نظر گرفته شود در این صورت کاهش در وزن با فاصله ایجاد نمی شود. بنابراین وزن در سطح فضا برابر فرض می شود. با افزایش مقدار m وزن برای نقاط دورتر با سرعت بیشتر کاهش می یابد. اگر مقدار m خیلی بزرگ باشد، تنها بر نقاط پیش بینی و مشاهده تأثیر خواهد داشت (فرجی، سبکبار و عزیزی، ۱۳۸۵: ۴).

روش اسپیلاین

اسپالین عبارت است از برازش منحنی‌های دو بعدی بر روی سطوح سه بعدی. در این روش برای درون‌یابی از چند جمله‌ای‌ها استفاده می‌شود و از برازش تابع چند جمله‌ای براساس داده‌های اندازه‌گیری شده، مقادیر نامعلوم نقاط برآورد می‌شوند. ویژگی اساسی این روش عدم تغییر ناگهانی مقادیر برآورد شده است. روش اسپالین به دو دسته تقسیم می‌شود، منظم و کششی. روش منظم یک سطح نرم با تغییرات تدریجی ایجاد می‌کند که ممکن است در آن برخی از مقادیر از دامنه مقادیر نقاط اندازه‌گیری خارج باشد. در روش کششی سطح نرم تری ایجاد می‌شود که مقادیر آن بر اساس خصوصیات پدیده مورد مدل‌سازی، با دامنه مقادیر نقاط اندازه‌گیری کنترل و محدود می‌شود. این روش در تهیه منحنی‌های هم ارزش اقلیمی که سطح معینی از تعمیم در آن‌ها مورد نظر می‌باشد مفید است (Augustijn). معادله کلی این روش به صورت رابطه (۷) است.

$$Z_{(x,y)} = T_{(x,y)} + \sum_{j=1}^N \lambda_j R(r_i) \quad \text{رابطه (۷)}$$

که در آن N : تعداد نقاط؛ λ_j : ضریبی که با حل دستگاه معادلات خطی محاسبه می‌شود، r_i : فاصله نقطه (x,y) تا نقطه λ_j ، $T_{(x,y)}$ و $R(r_i)$ بر حسب نوع اسپالین مورد استفاده تعیین می‌شود.

روش تیسن

چند ضلعی‌های تیسن یکی از قدیمی‌ترین روش‌های درون‌یابی داده‌های اقلیمی است. در این روش فرض می‌شود که مقادیر متغیر برای مکان‌های فاقد داده برابر با مقدار آن در نزدیکترین ایستگاه اندازه‌گیری است. چند ضلعی‌های تیسن برای هر یک از نقاط اندازه‌گیری یک محدوده تأثیر تعریف می‌کند به‌طوری‌که هر نقطه داخل این محدوده به نقطه مرکزی چند ضلعی نزدیکتر است تا نقطه مرکزی چند ضلعی‌های مجاور (Heywood; 1998). مهمترین مشکل این روش فرض یکسان بودن داده‌ها در داخل چند ضلعی و تغییرات

ناگهانی و فاحش در مرز چند ضلعی‌هاست. بنابراین تغییرات عددی در داخل چندضلعی‌ها قابل برآورد نیست (Gold;1991).

آزمون ران تست

این آزمون به منظور بررسی تصادفی بودن داده‌های عددی اجرا می‌شود. یکی از فرض‌های اساسی در اغلب پردازش‌های آماری تصادفی بودن مشاهدات است. در مطالعات زیادی از جمله بررسی فرض مانده‌های یک مدل، برقراری فرض تصادفی بودن حیاتی است. این فرض حتی از فرض نرمال بودن مانده‌ها نیز مهمتر است زیرا برقراری آن دلالت بر نمونه‌گیری تصادفی خواهد داشت. انحراف از فرض تصادفی بودن می‌تواند به دلیل وجود روندهای افزایشی یا کاهشی، رفتارهای دوره‌ای یا افزایش تغییرپذیری و برخی علل دیگر باشد. اساس اسن روش بر این پایه استوار است که اگر مشاهدات مستقل از یکدیگر باشند، از بهم پیوستن آن‌ها دنباله‌ای تصادفی ایجاد می‌شود و اگر خط مبنای مناسبی انتخاب شود، نقاط متناظر با هر مشاهده به طور تصادفی در دو طرف این خط نوسان خواهد کرد. معیار کمی کردن این آزمون مفهوم گردش است. یک گردش دنباله‌ای از مشاهدات است که در یک طرف خط مبنا قرار گرفته‌اند. اگر دنباله مشاهدات تصادفی باشند انتظار داریم تعداد گردش‌های دو طرف خط مبنا یکسان باشند. اگر R تعداد گردش‌های n مشاهده فرض شود، زمانی فرض تصادفی بودن مشاهدات برقرار است توزیع R تقریباً نرمال است رابطه (۸) (جاوری، ۱۳۸۹؛ ۹۲).

$$E(R) = \frac{2n-1}{3}, \text{Var}(R) = \frac{16n-29}{9}, \quad \text{رابطه (۸)}$$

در این پژوهش به منظور انتخاب خط مبنا، مانده‌های خطا در سه روش RMSE، MAE و MBE برای میانگین، میانه و مد مورد برازش و آزمون قرار گرفت و این نتیجه حاصل شد که با انتخاب میانه به عنوان خط مبنا، تعداد گردش‌ها در دو طرف آن یکسان می‌باشد.

روش تحلیل سلسله مراتبی

فرایند تحلیل سلسله مراتبی یکی از بهترین روش‌های تصمیم‌گیری برای زمانی است که تصمیم‌گیرنده دارای معیارهای چندگانه باشد (تیلور^۱، ۲۰۰۴، ۳۷۴). برای سنجش شایستگی نسبی هر یک از گزینه‌ها، معمولاً از معیارها استفاده می‌شود. روال کار مدل AHP با مشخص کردن عناصر و تصمیم‌گیری و اولویت دادن به آن‌ها آغاز می‌شود، این عناصر شامل شیوه‌های مختلف انجام کار و اولویت دادن به ویژگی‌ها است (چانج^۲، ۲۰۰۵، ۳۱۳). استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی برای حل مسائل پیچیده معمولاً در چهار مرحله صورت می‌پذیرد (چنگ^۳، ۱۹۹۶، ۳۴۳؛ برتولینی^۴، ۲۰۰۶، ۴۲۳).

۱- تجزیه مسائل پیچیده به تعدادی از عناصر جزئی و سپس تشکیل سلسله مراتب برای عناصر.

۲- انجام مقایسه جفتی در بین عناصر با توجه به مقیاس نسبتی.

¹ - Taylor

² - Chenj

³ - Cheng

⁴ - Bertolini

۳- استفاده از روش مقدار ویژه (ماتریس) به منظور برآورد کردن وزن نسبی عناصر.

۴- استفاده از مجموع وزن‌های نسبی و ترکیب گزینه‌ها برای اندازه‌گیری نهایی.

به عبارتی در هر ساختار سلسله مراتبی مربوط به یک موضوع مشخص، با چهار سطح سلسله مراتبی شامل: اهداف، معیارها، زیر معیارها، و گزینه‌ها مواجه هستیم جدول (۱) (بوئن^۱، ۱۹۹۳، ۳۳۳؛ نکای^۲، ۲۰۰۳، ۲۳۷). در فرایند تحلیل سلسله مراتبی، برتری بین گزینه‌ها به وسیله‌ی مقایسه جفتی بین آن‌ها تعیین می‌شود. در مقایسه جفتی روال کار چنین است که برای بررسی دو گزینه یکی از آن‌ها را در نظر گرفته و بوسیله‌ی آن ارجحیت یا اهمیت دو گزینه را نسبت به هم می‌سنجند (طاه‌آ^۳، ۲۰۰۳، ۵۲۲). در این فرایند از اعداد ۱ تا ۹ به عنوان یک مقیاس استاندارد، برای مشخص کردن اهمیت گزینه‌ها (از اهمیت مساوی تا اهمیت فوق العاده زیاد) نسبت به هم استفاده می‌شود. در ماتریس مقایسه جفتی، عدد ۹ نشان دهنده اهمیت فوق العاده زیاد یک معیار نسبت به دیگری است و عدد ۱/۹ نشان دهنده‌ی ارزش فوق العاده پایین یک معیار نسبت به معیار دیگر و ارزش عددی ۱ نشان دهنده‌ی اهمیت‌های برابر است (سارکیس و تایلوری^۴، ۲۰۰۴، ۳۲۲؛ کونز^۵، ۲۰۱۰، ۸). بنابراین، اگر اهمیت فاکتور اول نسبت به فاکتور دوم بدست آورده شود پس در نتیجه اهمیت فاکتور دوم نسبت به فاکتور اول دوسویه خواهد بود. همچنین از مقیاس نسبتی و مقایسه کلامی برای وزن دهی به عناصر قابل سنجش و غیر قابل سنجش استفاده می‌شود (پوهکر و رامچادران^۶، ۲۰۰۴، ۳۶۹).

جدول (۱). مقیاس ۹ کمیتی ساعتی برای مقایسه جفتی (بوئن، ۱۹۹۰، ۱۳۷؛ دی^۷، ۲۰۰۷، ۱۳۹۲؛ خلیل^۸، ۲۰۱۳، ۱۰۱).

امتیاز	تعریف	توضیح
۱	اهمیت مساوی	در تحقق هدف، دو معیار اهمیت مساوی دارند
۳	اهمیت اندکی بیشتر	تجربه نشان می‌دهد که برای تحقق هدف اهمیت ۳ بیشتر از ۱ است.
۵	اهمیت بیشتر	تجربه نشان می‌دهد که اهمیت ۵ خیلی بیشتر از ۱ است.
۷	اهمیت خیلی بیشتر	تجربه نشان می‌دهد که اهمیت ۷ خیلی بیشتر از ۱ است.
۹	اهمیت مطلق	اهمیت خیلی بیشتر نسبت به به طور قطعی به اثبات رسیده است
۲، ۴، ۶، ۸	مقادیر متوسط بین دو قضاوت مجاور	هنگامی که حالت‌های میانه وجود دارد

در این پژوهش پس از محاسبه انواع خطاها در هر روش درونیابی، برای بدست آوردن بهترین روش درونیابی از مدل AHP و برای محاسبه آن از نرم افزار Expert Choice استفاده شد.

^۱ - Bowen

^۲ - Ngai

^۳ - Taha

^۴ - Ssrkis and Tailuri

^۵ - Kunz

^۶ - Poheker and Ramachadran

^۷ - Dey

^۸ - khilil

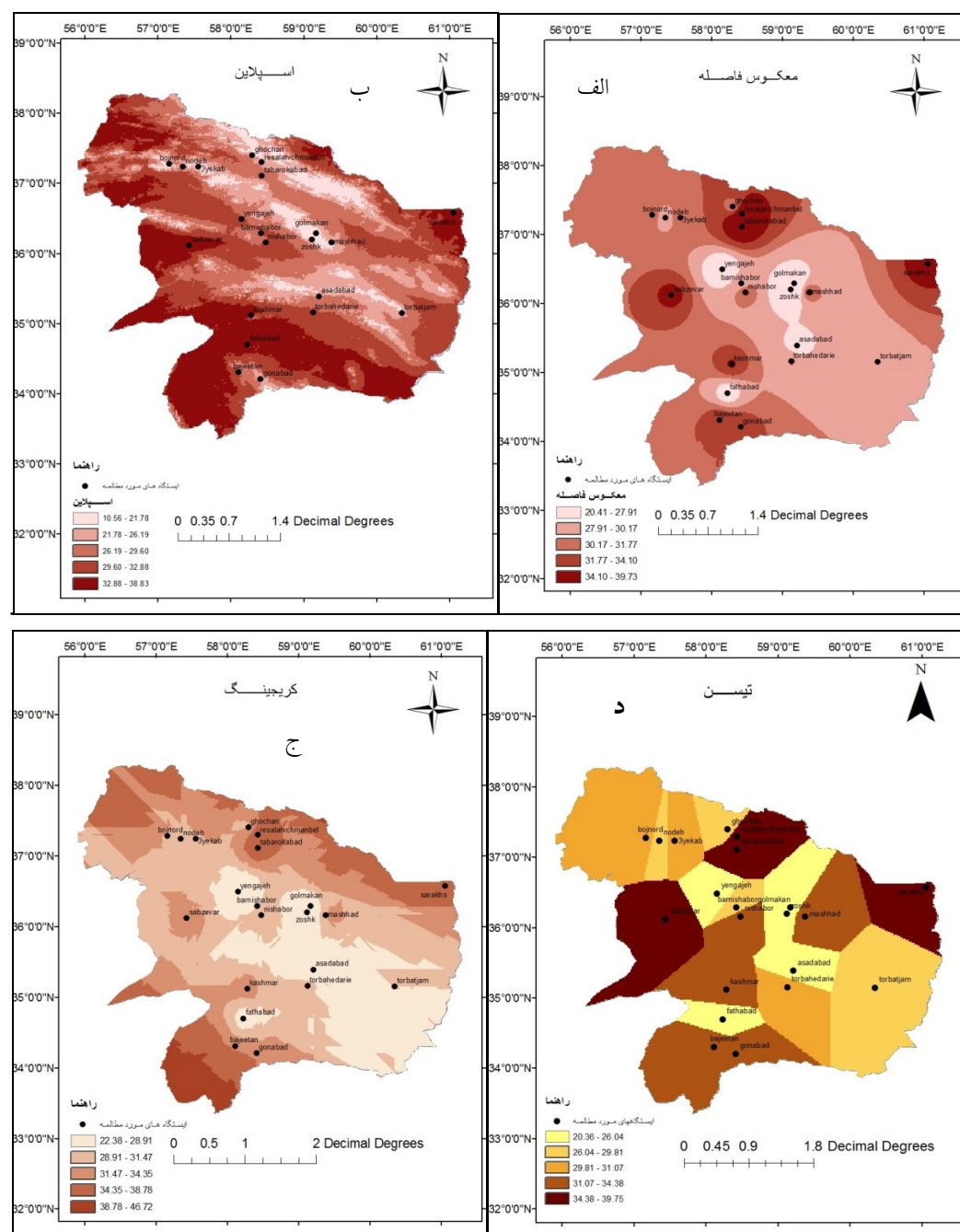
نتایج

به منظور برآورد توزیع مکانی دمای تابستان در منطقه مورد مطالعه، ضروری بود تا قبل از پرداختن به تحلیل روش‌های درون‌یابی خصوصیات ذاتی دمای تابستان و نحوه عملکرد آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور وضعیت دما در سطح منطقه، ابتدا فراسنج‌های آماری ایستگاه‌های مورد مطالعه محاسبه شد جدول (۲).

جدول (۲). ویژگی‌های آماری دمای تابستان در ایستگاه‌های هواشناسی منتخب (۱۹۹۷-۲۰۱۷)

نام ایستگاه	میانگین	میانه	انحراف معیار	دامنه	حداقل	حداکثر	ضریب تغییرات
اسدآباد	۲۵/۳۱	۲۵/۳۲	۱/۴۹	۷/۵۸	۲۰/۵۰	۲۸/۰۸	۵/۸۹
بارنیشاپور	۲۸/۶۹	۲۸/۶۳	۱/۱۴	۴/۰۸	۲۶/۶۹	۳۰/۷۷	۳/۹۷
بجستان	۳۴/۰۳	۳۴/۰۷	۰/۹۴	۴/۱۱	۳۱/۷۲	۳۵/۸۳	۲/۷۶
بجنورد	۳۰/۶۸	۳۴/۰۷	۰/۸۴	۳/۱۳	۲۸/۶۹	۳۱/۸۳	۲/۷۴
تبرک‌آباد	۳۷/۶۲	۳۸	۲/۶۹	۱۱/۶۶	۲۹/۵۰	۴۱/۱۶	۷/۱۵
تربت جام	۳۰/۰۱	۳۰/۳۱	۱/۷۶	۸/۲۴	۲۴/۲۶	۳۲/۵۰	۵/۸۶
تربت حیدریه	۳۰/۹۹	۳۱/۰۳	۰/۷۳	۳/۴۵	۲۹/۰۷	۳۲/۵۲	۲/۳۶
رسالت	۳۸/۹۷	۳۹/۳۳	۱/۵۵	۸	۳۳/۶۶	۴۱/۶۶	۳/۹۸
زشک	۲۰/۲۶	۲۰/۵۹	۱/۷۵	۸/۶۵	۱۳/۲۲	۲۱/۷۸	۸/۶۷
سبزوار	۳۵/۹۰	۳۵/۹۰	۰/۶۹	۲/۹۰	۳۴/۳۲	۳۷/۲۲	۱/۹۲
سرخس	۳۵/۶۴	۳۵/۷۰	۰/۷۳	۳/۱۱	۳۳/۷۱	۳۶/۸۲	۲/۰۵
سه یک آب	۳۴/۷۹	۳۵/۳۳	۲/۲۰	۶/۸۹	۳۰/۶۱	۳۷/۵۰	۶/۳۲
فتح‌آباد	۲۵/۵۳	۲۵/۵۶	۰/۸۱	۲/۹۴	۲۴/۱۵	۲۷/۰۹	۳/۱۷
قوچان	۳۰/۵۳	۳۰/۳۹	۱/۶۳	۸/۶۳	۲۸/۲۵	۳۶/۸۸	۵/۳۴
کاشمر	۳۴/۶۹	۳۴/۶۱	۰/۵۹	۲/۳۶	۳۳/۲۷	۳۵/۶۲	۱/۷۰
گلمکان	۲۶/۶۶	۲۶/۰۴	۱/۶۷	۵/۰۹	۲۴/۴۶	۲۹/۵۶	۶/۲۶
گناباد	۳۴/۲۵	۳۴/۳۱	۰/۶۷	۲/۳۷	۳۲/۵۷	۳۵/۳۰	۱/۹۶
مشهد	۳۲/۵۵	۳۲/۸۹	۰/۷۸	۳/۰۸	۳۰/۶۴	۳۳/۷۳	۲/۴۰
نوده	۲۸/۷۴	۲۸/۷۱	۱/۰۱	۴/۸۷	۲۶/۷۴	۳۱/۵۲	۳/۵۱
نیشابور	۳۲/۷۳	۳۲/۶۵	۰/۷۲	۳/۰۴	۳۱/۰۴	۳۴/۰۸	۲/۲۰
ینگجه	۲۰/۱۳	۲۰/۳۸	۳/۴۷	۱۸/۷۷	۵/۸۷	۱۹/۹۸	۱۷/۲۴

جهت ارزیابی و اعتبار سنجی روش‌های درون‌یابی نقشه‌های همدمای فصل تابستان برای هر سال ترسیم شد. با توجه به تعداد زیاد نقشه‌ها، فقط نقشه‌های سال ۲۰۱۷ در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل (۲). نقشه‌های درون‌یابی دمای تابستان ۲۰۱۸، (الف) اسپلاین، (ب) فاصله معکوس، (ج) کریجینگ، (د) تیسین

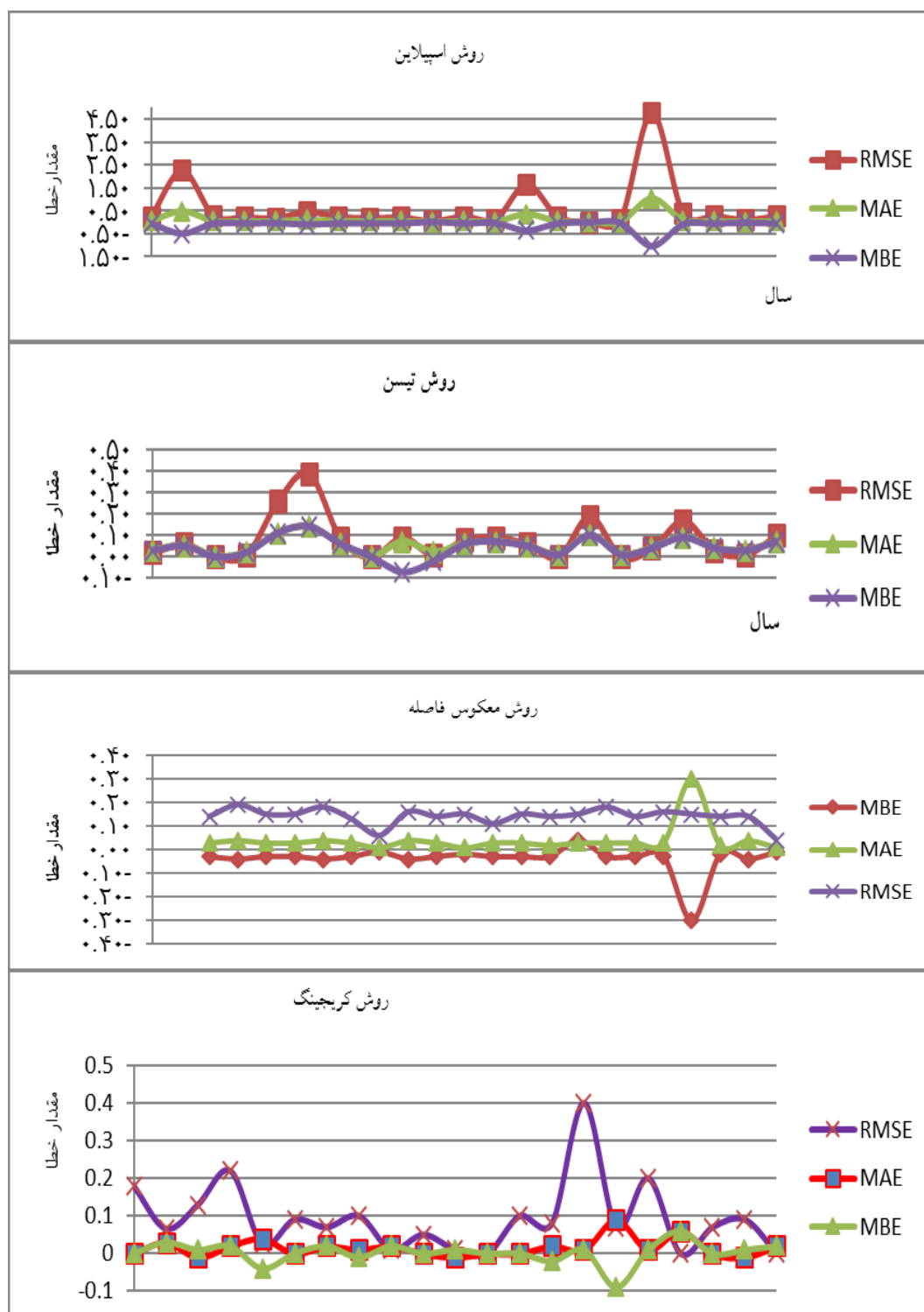
در روش کریجینگ تعداد نقاط همسایگی در محدوده جستجوی هشت قطاع، شامل ۵ نقطه که بایستی حداقل دو نقطه در درون‌یابی دخالت داشته باشند، صورت گرفت. بدین لحاظ و به منظور برازش توزیع‌های آماری، نیاز

به آزمون بررسی نرمال بودن داده‌ها بود. لذا این آزمون در مورد داده‌ها انجام و در نهایت با استفاده از تبدیل Box – Cox داده‌ها نرمال گردیدند. تفاوت‌های فضایی در هر روش درون‌یابی آشکار است. برای اجرای روش IDW لازم بود پارامترهای توان فاصله، تعداد نقاط همسایگی و شعاع همسایگی بهینه شوند. بررسی تعداد نقاط و شعاع همسایگی نشان داد که روش IDW با تعداد نقاط ۱۲ و شعاع حدود ۲۰۰ کیلومتر کمترین خطا را در برآورد دمای تابستانه ایجاد می‌کند.

از آنجایی که برای هریک از ۲۱ سال دوره آماری مورد بررسی، نقشه درون‌یابی تهیه شد و ویژگی دمای پیش بینی شده هر نقشه به دقت بررسی گردید برای هر روش درون‌یابی به طور جداگانه جدول تهیه شد. جدول (۴) از آنجایی که مقدار ضریب تغییر پذیری، میزان پراکندگی به ازای یک واحد از میانگین را بیان میکند و ضریب تغییر پذیری بالا، نشان دهنده عدم نظم و غیر قابل پیش بینی بودن دمای تابستان می باشد، این پارمتر آماری و همچنین انحراف معیار برای هر چهار روش درون یابی در طی دوره آماری مورد بررسی، محاسبه گردید. جدول (۳).

جدول (۳). میانگین و تغییرپذیری دمای برآورد شده برای فصل تابستان توسط روش‌های مختلف

روش سال	اسپلین		معکوس فاصله		کریجینگ		تیسن	
	میانگین	تغییرپذیری	میانگین	تغییرپذیری	میانگین	تغییرپذیری	میانگین	تغییرپذیری
۱۹۹۷	۲۹/۵۹	۴/۳۶	۳۰/۵۳	۱/۸۰	۲۹/۷۹	۰/۵۷	۳۱/۵۸	۴/۰۲
۱۹۹۸	۲۰/۰۶	۵/۴۲	۳۰/۱۸	۲/۲۴	۲۹/۴۴	۰/۷۲	۳۱/۲۵	۴/۰۳
۱۹۹۹	۳۰	۴/۱۹	۳۱/۱۳	۱/۸۷	۳۰/۷۰	۰/۷۰	۳۲/۰۶	۳/۷۳
۲۰۰۰	۳۰/۵۹	۵/۲۱	۳۱/۵	۱/۸۰	۳۰/۸۳	۰/۵۷	۳۲/۹۵	۳/۵
۲۰۰۱	۲۹/۷۹	۴/۷۳	۳۰/۳۱	۱/۹۸	۲۹/۷۲	۰/۷	۳۲/۶۶	۳/۶
۲۰۰۲	۲۷/۶۹	۵/۷۳	۲۹/۴۶	۲/۱	۲۹/۱۲	۰/۸۹	۳۱/۳۶	۴/۰۳
۲۰۰۳	۲۸/۹۲	۴/۷۵	۲۹/۷۸	۲/۳	۲۹/۴۷	۰/۸۹	۳۰/۱۱	۴/۱۱
۲۰۰۴	۲۹/۴۳	۴/۷۳	۲۹/۹۸	۲/۱۷	۲۹/۴۰	۰/۹۲	۳۰/۴۱	۴/۷
۲۰۰۵	۳۰/۸۱	۵/۳۰	۳۱/۵۶	۲/۱۴	۳۰/۹۷	۰/۸۳	۳۱/۱۰	۴/۲۷
۲۰۰۶	۳۱/۶۲	۴/۷۱	۳۱/۰۶	۱/۸۵	۳۰/۵۶	۰/۶۰	۳۲/۶۷	۴/۲۹
۲۰۰۷	۳۰/۲۵	۵/۲۳	۳۱/۱۵	۱/۹	۳۰/۶۹	۰/۶۱	۳۱/۹۴	۳/۹۲
۲۰۰۸	۲۹/۹۴	۵/۷۲	۳۰/۴۵	۱/۸۹	۲۹/۸۳	۰/۵۹	۳۲/۱۶	۴/۲۲
۲۰۰۹	۲۳/۴۲	۴/۸۶	۳۰/۷۶	۲/۰۵	۳۰/۲۳	۰/۷۴	۳۱/۵۲	۳/۹۶
۲۰۱۰	۳۰/۱۳	۴/۵۹	۳۱/۰۱	۲/۰۲	۳۰/۶۱	۰/۹۸	۳۱/۷۴	۴/۲۰
۲۰۱۱	۲۹/۵۹	۵/۱۶	۳۰/۹۲	۱/۹۹	۳۰/۴۱	۰/۷۵	۳۲/۰۸	۴/۱
۲۰۱۲	۳۱/۲۲	۴/۶۴	۳۱/۶۷	۱/۷۹	۳۱/۲۲	۰/۹۶	۳۱/۸۵	۴/۱۵
۲۰۱۳	۱۹/۰۱	۵/۰۷	۳۰/۷۹	۲/۰۵	۳۰/۳۹	۰	۳۲/۷۱	۴/۱۸
۲۰۱۴	۲۹	۴/۹۶	۳۰/۵۱	۲/۲۱	۳۰/۳۳	۱/۴۱	۳۱/۸۶	۴/۲۳
۲۰۱۵	۳۰/۵۲	۴/۶۵	۳۰/۹۲	۱/۸۷	۳۰/۴۲	۰/۵۴	۳۱/۵۴	۴/۲۴
۲۰۱۶	۳۰/۵۲	۴/۶۵	۳۰/۷۴	۲/۰۸	۳۰/۲۳	۰/۷۶	۳۱/۹۷	۳/۹۳
۲۰۱۷	۲۹/۰۹	۴/۵۹	۳۰/۴۴	۱/۹۶	۳۰/۰۱	۰/۷	۳۱/۸۲	۴/۲۳
متوسط								



شکل (۳). میزان خطای RMSE، MAE و MBE در روش های مختلف درون یابی

از آن‌جایی که خطاهای به‌دست آمده برای دوره آماری ۲۰ ساله محاسبه شده است، برای تعمیم اطلاعات حاصل شده آزمون ران تست بر روی مقادیر RMSE، MAE و MBE در هر روش درون‌یابی نیز انجام گرفت. این آزمون فرض تصادفی بودن مانده‌ها را تأیید می‌کند (جدول (۴)).

جدول (۴). نتایج حاصل از آزمون ران تست مربوط به روش الف) کریجینگ، ب) معکوس فاصله، ج) تبیین، د) اسپلین

ب Runs Test				الف Runs Test			
MBE	MAE	RMSE		MBE	MAE	RMSE	
-.۰۳	.۰۳	.۱۵	Test Value ^a	.۰۲	.۰۲	.۰۸	Test Value ^a
۴	۳	۱۰	Cases < Test Value	۱۰	۱۰	۱۰	Cases < Test Value
۱۷	۱۸	۱۱	Cases >= Test Value	۱۱	۱۱	۱۱	Cases >= Test Value
۲۱	۲۱	۲۱	Total Cases	۲۱	۲۱	۲۱	Total Cases
۹	۶	۱۳	Number of Runs	۱۲	۱۲	۱۲	Number of Runs
.۷۶۹	.۰۰۰	.۴۶۰	Z	.۰۱۱	.۰۱۱	.۰۱۱	Z
.۴۴۲	۱.۰۰۰	.۶۴۶	Asymp. Sig. (2-tailed)	.۹۹۱	.۹۹۱	.۹۹۱	Asymp. Sig. (2-tailed)
د Runs Test				ج Runs Test			
MBE	MAE	RMSE		MBE	MAE	RMSE	
-.۰۵	.۰۵	.۲۴	Test Value ^a	.۰۴	.۰۵	.۰۶	Test Value ^a
۱۰	۱۰	۱۰	Cases < Test Value	۱۰	۱۰	۱۰	Cases < Test Value
۱۱	۱۱	۱۱	Cases >= Test Value	۱۱	۱۱	۱۱	Cases >= Test Value
۲۱	۲۱	۲۱	Total Cases	۲۱	۲۱	۲۱	Total Cases
۱۲	۱۱	۱۱	Number of Runs	۱۲	۱۴	۱۴	Number of Runs
.۰۱۱	.۰۰۰	.۰۰۰	Z	.۰۱۱	.۹۰۸	.۹۰۸	Z
.۹۹۱	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	Asymp. Sig. (2-tailed)	.۹۹۱	.۳۶۴	.۳۶۴	Asymp. Sig. (2-tailed)

انتخاب روش درون‌یابی در درجه اول به طبیعت متغیر و تغییرات مکانی آن وابسته است. هرچند تحت تأثیر عوامل دیگری نیز می‌باشد، ارائه یک قانون صحیح و عام برای انتخاب یک روش بسیار دشوار است. در این پژوهش برای دستیابی به این مهم سه روش اعتبارسنجی برای هر روش درون‌یابی مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت. نتایج نهایی و میانگین هریک از روش‌های اعتبارسنجی در جدول (۵) آمده است.

جدول (۵). میانگین هر یک از خطاهای مورد ارزیابی در روش‌های درون‌یابی

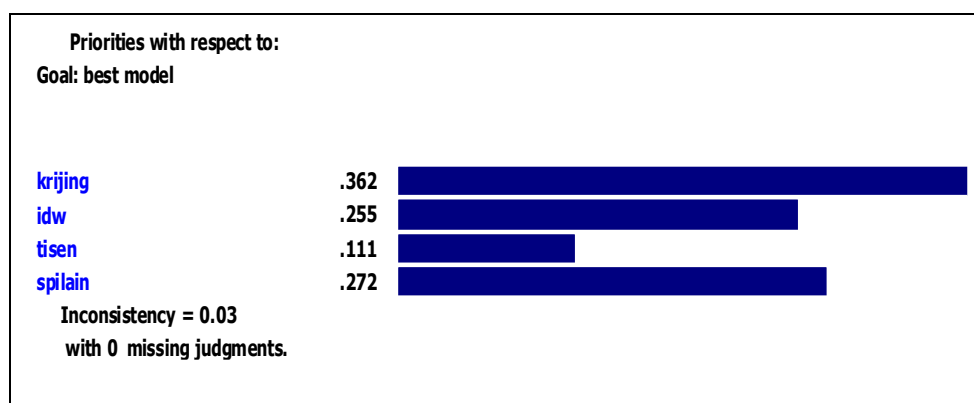
روش درون‌یابی	RMSE	MAE	MBE
اسپلین	۰/۵۹	۰/۰۱	-۰/۱
تبیین	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۴
کریجینگ	۰/۱۰	۰/۰۲	۰/۰۱
معکوس فاصله	۰/۱۴	۰/۰۳	-۰/۰۲

نتایج حاصل از روش تحلیل فرآیند سلسله مراتبی

در اولین اقدام، وزن معیارها تعیین می‌شود. این وزن‌ها، با توجه به اهمیت معیارها در مقابل یکدیگر، نسبت به هدف "انتخاب بهترین روش درون‌یابی" تعیین می‌شود. ابتدا معیارهای لایه‌های اصلی با یکدیگر مقایسه می‌شوند. جدول مقایسه زوجی معیارهای لایه‌های اصلی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد و شکل (۴) وزن‌های محاسبه شده معیارها در نرم افزار Expert Choice را نشان می‌دهد. جدول (۶).

جدول (۶). مقایسه زوجی معیارهای اصلی برای انتخاب بهترین روش درون‌یابی

معیارهای درون‌یابی	کریجینگ	فاصله معکوس	تیسن	اسپلین	وزن
کریجینگ	۱	۲	۳	۲	۰/۱۰۸
فاصله معکوس	-	۱	۳	۲	۰/۱۹۰
تیسن	-	-	۱	۲	۰/۲۵۸
اسپلین	-	-	-	۱	۰/۴۴۵

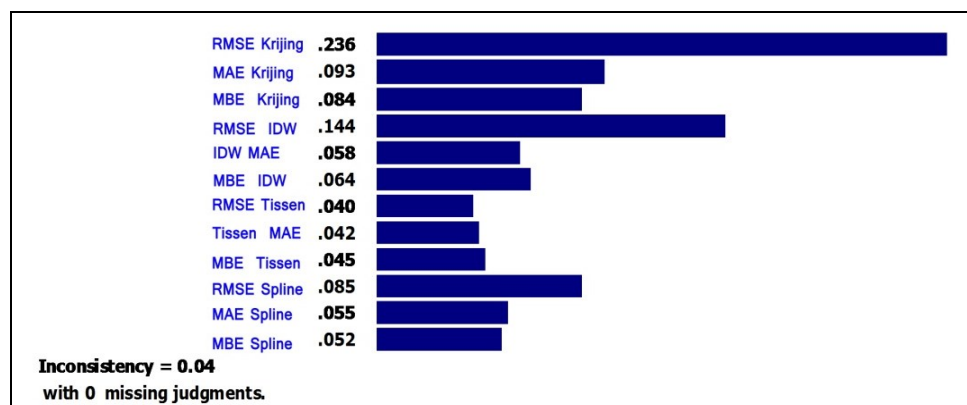


شکل (۴). وزن‌های محاسبه شده برای روشهای درون‌یابی

با توجه به این‌که برای هر معیار، زیر معیارهایی تعریف شده است، در این مرحله، برای وزن‌دهی به زیر معیارها، دو به دو آن‌ها با هم مقایسه می‌شوند. بدین صورت برای هر کدام از زیر معیارها، به طور جداگانه مقایسه زوجی انجام می‌گیرد. در ادامه به طور جداگانه به بررسی و ارزیابی هر یک از زیر معیارها پرداخته شده است. در این پژوهش، خطاهای محاسبه شده برای هر روش درون‌یابی به عنوان زیرمعیار در تعیین بهترین روش درون‌یابی مورد وزن دهی قرار گرفت. جدول (۷) مقایسه زوجی زیر معیار اقلیمی را نشان می‌دهد و شکل (۵) نمودار وزن‌های محاسبه شده را نشان می‌دهد.

جدول (۷). مقایسه زوجی زیر معیارها

روش درون‌یابی	خطاهای ارزیابی شده	زیرمعیار	۰/۱۰	۰/۰۲	۰/۰۲۵	۰/۱۴	۰/۰۳۱	۰/۰۲۷	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۵۹	۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	وزن
کریجینگ	RMSE	۰/۱۰	۳	۴	۳	۴	۴	۵	۵	۵	۲	۴	۴	۴	۰/۲۳
	MAE	۰/۰۲	-	۲	۲	۲	۲	۳	۲	۲	۳	۱	۱	۱	۰/۰۹
	MBE	۰/۰۲۵	-	-	۳	۲	۲	۳	۲	۲	۲	۱	۱	۱	۰/۰۸
معکوس فاصله	RMSE	۰/۱۴	-	-	-	۳	۳	۴	۴	۴	۱	۲	۱	۱	۰/۱۴
	MAE	۰/۰۳۱	-	-	-	-	۲	۲	۱	۲	۲	۲	۱	۱	۰/۰۵
	MBE	۰/۰۲۷	-	-	-	-	-	۲	۱	۱	۳	۲	۱	۱	۰/۰۶
تیسن	RMSE	۰/۰۸	-	-	-	-	-	۲	۳	۱	۲	۲	۱	۲	۰/۰۴۰
	MAE	۰/۰۵	-	-	-	-	-	-	۲	۱	۲	۲	۱	۲	۰/۰۴۲
	MBE	۰/۰۴	-	-	-	-	-	-	-	۲	۱	۲	۲	۱	۰/۰۴۵
اسپلاین	RMSE	۰/۰۵۹	-	-	-	-	-	-	-	-	۱	۲	۱	۱	۰/۰۸۵
	MAE	۰/۰۱۳	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۲	۱	۱	۰/۰۵۵
	MBE	۰/۰۱۳	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۲	۲	۰/۰۵۲



شکل (۵). وزن‌های محاسبه شده برای زیرمعیارها

نتیجه گیری

بررسی نقشه‌های دمای فصل تابستان، که توسط چهار روش درون‌یابی اسپلاین، تیسن، معکوس فاصله و کریجینگ تهیه گردید، نشان داد که دما در این فصل از سال در منطقه شمال شرق از شمال به جنوب و از شرق به غرب افزایش می‌یابد. از دلایل بالا بودن مقدار دما در غرب منطقه مورد مطالعه می‌توان به ارتفاع پست آن و افزایش قابل ملاحظه تابش خورشید و همچنین فرارفت هوای گرم از نواحی ایران مرکزی اشاره کرد که در فصل تابستان دما را به حداکثر ممکن می‌رساند. به طور کلی با عبور از سمت غرب به شرق و بالا رفتن نسبی ارتفاع متوسط، مقدار دما کاهش می‌یابد.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت بر اساس معیار ریشه میانگین مربعات خطا (جدول (۱۰))، به ترتیب روش تیسن، کریجینگ، معکوس فاصله و اسپلین قرار گرفته اند. بر اساس معیار بیشینه مطلق خطا، روش کریجینگ بهتر از سایر روش‌ها دمای تابستان را برآورد کرده است. بر اساس معیار MBE نیز روش کریجینگ بهتر از سایر روش‌ها می‌باشد و می‌توان از آن برای درون‌یابی دما استفاده نمود.

پس از تعیین ضرایب اهمیت هریک از معیارها (روش‌های درون‌یابی)، و زیر معیارها (خطاهای محاسبه شده در هر روش درون‌یابی)، در روش AHP از تلفیق ضرایب اهمیت مزبور، امتیاز نهایی هر یک از معیارها تعیین گردید. برای این کار از «اصل ترکیب سلسله مراتبی» ساعتی که منجر به بردار اولویت، با در نظر گرفتن همه قضاوت‌ها در تمامی سطوح سلسله مراتبی می‌شود، استفاده خواهد شد (برتولونی، ۲۰۰۶، ۴۲۳). رابطه (۹) بیانگر نحوه‌ی محاسبه امتیاز نهایی گزینه‌ها می‌باشد رابطه (۹).

$$= \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m w_k w_i (g_{ij}) \quad \text{رابطه (۹)}$$

که در آن: w_k ضریب اهمیت معیار k ، w_i ضریب اهمیت زیر معیار i ، g_{ij} امتیاز گزینه j در ارتباط با زیر معیار i (زیر دست، ۱۳۸۰، ۱۸). یکی از مزیت‌های فرایند سلسله مراتبی این است که میزان سازگاری مقایسه‌های انجام شده را مشخص می‌کند. این نرخ نشان می‌دهد که تا چه اندازه می‌توان به اولویت‌های حاصل از اعضای گروه یا اولویت‌های جدول‌های ترکیبی اعتماد کرد. تجربه نشان داده است که اگر نرخ سازگاری ($C.R$) کمتر از $0/10$ باشد، می‌توان سازگاری مقایسه‌ها را پذیرفت؛ در غیر این صورت باید مقایسه‌ها مجدداً انجام گیرد (مرنو و جیمenez، ۲۰۰۵، ۱۰۳). با توجه به ضرایب تعیین شده برای هریک از روش‌های درون‌یابی نرخ سازگاری محاسبه شده $0/03$ می‌باشد که از دقت بالای انتخاب وزن‌ها و صحت انجام این روش حکایت دارد. براساس روش AHP نیز بهترین روش برای درون‌یابی دمای تابستان روش کریجینگ بوده که بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است و دارای بیشترین وزن در بین سایر روش‌های درون‌یابی می‌باشد.

منابع

- ادب، حامد؛ فلاح قالهری، غلامعباس؛ بیاتی، رضا. (۱۳۸۷). ارزیابی روش‌های میان‌یابی کریجینگ و رگرسیون خطی بر پایه DEM در تهیه نقشه‌های همبارش سالانه در استان خراسان رضوی، همایش ژئوماتیک ۱۳۸۷.
- امیدوار، کمال؛ یونس خسروی. (۱۳۸۸). ارزیابی روش کریجینگ در تعیین مدلی بهینه جهت پایش شاخص بارندگی استاندارد در محیط GIS مطالعه موردی (استان یزد)، دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن، اصفهان، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان.
- ثقفیان، بهرام و سعید رحیمی بندرآبادی. (۱۳۸۴). مقایسه روش‌های درون‌یابی و برو یابی برای برآورد توزیع مکانی مقدار باندگی سالانه، تحقیقات منابع آب ایران، (۲): ۷۴-۸۴.
- ثقفیان، بهرام؛ رزمخواه، هما؛ قرمزچشمه، باقر. (۱۳۹۰). بررسی تغییرات منطقه‌ای بارش سالانه با کاربرد روش‌های زمین‌آمار (مطالعه موردی: استان فارس) مجله مهندسی منابع آب، سال ۴(۹): ۳۸-۲۹.
- جاوری، مجید (۱۳۸۹) شیوه‌های تجزیه و تحلیل کمی در اقلیم‌شناسی؛ با تأکید بر مدل‌های روند، انتشارات پیام رسان.
- حسینی پاک، علی اصغر (۱۳۸۰) تحلیل داده‌های اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران.
- حمیدیان پور، محسن؛ سلیقه، محمد؛ فلاح قالهری، غلامعباس. (۱۳۹۲). کاربرد انواع روش‌های درون‌یابی به منظور پایش خشکسالی، مورد: استان خراسان رضوی، جغرافیا و توسعه، ۳۰: ۵۷-۷۰.
- عساکره، حسین. (۱۳۸۷). کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش مطالعه موردی: میان‌یابی بارش ۱۳۷۶/۱۲/۲۶ در ایران زمین. فصلنامه جغرافیا و توسعه، ۶(۱۲): ۴۲-۲۵.
- فرجی سبکبار، حسنعلی؛ عزیزی، قاسم. (۱۳۸۵). ارزیابی میزان دقت روش‌های درون‌یابی فضایی: مطالعه موردی: الگو سازی بارندگی حوزه کارده مشهد. پژوهش‌های جغرافیایی، ۵۸: ۱-۱۵.
- قهرودی تالی، منیژه. (۱۳۸۴). سیستم اطلاعات جغرافیایی در محیط سه بعدی، انتشارات جهاد دانشگاهی، واحد تربیت معلم.
- میرموسوی، سیدحسین، میریان، مینا. (۱۳۹۰). کاربرد روش‌های زمین‌آمار در مطالعات توزیع مکانی بارش (مطالعه موردی: استان کرمان). نشریه جغرافیا و برنامه ریزی، ۱۶(۳۸): ۱۵۳-۱۷۸.
- Augustijn, E. W. Interpolations. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, Spatial Information Theory and Applied Computer Science Division.
- Bertolini, M, M, Braglia (2006). Application of the AHP methodology in making a proposal for a public work contract, 17 January.
- Bowen, William M, (1990). Subjective judgments and data environment analysis in site selection, Computer, Environment and Urban Systems, 14, 133-144.
- Burrough, P. A. and R. A. McDonnell (1998). Principles of Geographical Information Systems, Oxford University Press.
- Chang, K.F, C.M, Chiang, P.C, Chou (2005). Adapting aspects of GB Tool 200- searching for suitability in Taiwan, Building and Environment 42, 310-316.

- Cheng, C.H (1996). **Evaluating Naval Tactical Missile Systems by Fuzzy AHP Based on the Grade Value of Membership Function**. European Journal of Operational Research, 96: 343-350.
- Dey, P.K, E.K, Ramachadran (2007). **Analytic hierarchy process helps select site for limestone quarry expansion in Barbados**, Journal of Environmental Management. Pp. 1384-1395.
- Gold, C. M. (1991). **Problems with handling spatial data: the Voronoi approach**. Canadian Institute of Surveying and Mapping Journal, 45:65 -80
- Goodal CL,Aber JD,Olliner SV **Mapping monthly precipitation, temperature, and solar radiation for Ireland with polynomial regression and a digital elevation model**, Climate Research,(1991)10:35.
- Goovaerts P (2000). **Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall**, J. Hydrol. 228.
- Heywood,Ian.Sara Cornelius,Steve Carver,(1999). **An introduction to Geographical Information Systems**, Longman.
- Indonesia, International Journal of Environmental Engineering Science and Technology Research, 1(7), 98-109.
- Johnston K., VerHoef J.M., Krivoruchko K., and Lucas N (2001). **Using ArcGIS Geostatistical Analyst- GIS by ESRI**, United States of America.
- Kholil, Rahma Octaviani, (2013). **Application of AHP Method for selecting the best strategy to reduce environmental damage caused by non-metallic mining Case study in Gunungkidul Regency**, Yogyakarta,
- Kunz, J. (2010). **The Analytic Hierarchy Process (AHP), Eagle City Hall Location Options Task Force**, pp.1-25.
- Kurtzman D, Kadmon R (1999). **Mapping of temperature variable in Israel, A comparison of different interpolation method**. Climate research; 13: 33-44.
- Lloyd, C. D (2005). **Assessing the effect of integrating elevation data into the estimation of monthly precipitation in Great Britain**. J Hydrol308B:128-150
- Luo W., Taylor M.C., and Parker S.R (2008). **A comparison of spatial interpolation methods to estimate continuous wind speed surface using irregularly distributed data from England and Wales**, Int. J. Climatol. 28.
- Mallawaarachchi, T., Walker, P. A., Young, M. D., Smyth, R. E., Lynch, H. S., Dudgeon, G(1996). **GIS-based integrated modeling systems for natural resource management**. Agricultural Systems, 50:169-189
- Moreno-Jimenez, J.M., et al (2005). **A spreadsheet module for consistent consensus building in AHP-group decision-making**, Group Decision and Negotiation 14 89–108.
- Ngai, E.W.T (2003). **Selection of web sites for online advertising using the AHP**, Information & Management 40, 233-242.
- Poheker, S.D. & Ramachadran, M (2004). **Application of Multi-Criteria Decision Making to Sustainable Energy Planning**. A Review Renewable and Sustainable Energy Reviews, 8: 365-381.
- Price,D.T.,DW.Mckenny,IA,Nedler,M.F . **Hutchinson and J.L .Kesteven, A comparison of two Statistical Methods for interpolation**.Canadian Monthly Mean climate Data. Agriculture and Forest (2000).101(2-3)81-94.
- Sarkis, J. & Talluri, S. (2004). **Evaluating and Selecting E-Commerce Software and Communication Systems for a Supply Chain** .European Journal of Operational Research, 159: 318-329

- Sarra S.A (2006). **Integrated multiquadric radial basis function Approximation methods**. Comput Math App 151(8).
- Taha, H.A (2003). **Operations Research**. Pearson Education Inc. Fayetteville
- Tewolde GT, Beza TA, Costa AC, Painho M (2010). **Comparison of Different interpolation techniques to map temperature in the southern region of Eritrea**. International Conference on Geographic Information Science (AGILE), Guimaraes, Portugal
- Zhao, C., Nan, Z., Cheng, G., 2005. **Methods for modeling of temporal and spatial distribution of air temperature at landscape scale in southern Qilian mountains, China**. Ecolo Model .189-209:220.